

ATTORNEY DOCKET NO.: 71278

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : HEILIGENSETZER et al.
Serial No :
Confirm No :
Filed :
For : METHOD FOR MONITORING...
Art Unit :
Examiner :
Dated : January 28, 2004

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

PRIORITY DOCUMENT

In connection with the above-identified patent application, Applicant herewith submits a certified copy of the corresponding basic application filed in

Germany


Number: DE 103 04 019.6

Filed: 01/Feb./2003

the right of priority of which is claimed.

Respectfully submitted
for Applicant(s),

By:


John James McGlew
Reg. No.: 31,903
McGLEW AND TUTTLE, P.C.

JJM:tf

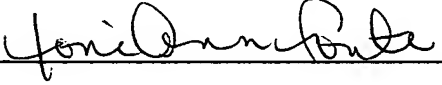
Enclosure: - Priority Document
71278.5

DATED: January 28, 2004
SCARBOROUGH STATION
SCARBOROUGH, NEW YORK 10510-0827
(914) 941-5600

NOTE: IF THERE IS ANY FEE DUE AT THIS TIME, PLEASE CHARGE IT TO OUR DEPOSIT ACCOUNT NO. 13-0410 AND ADVISE.

I HEREBY CERTIFY THAT THIS CORRESPONDENCE IS BEING DEPOSITED WITH THE UNITED STATES POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL, REGISTRATION NO. EV323629319US IN AN ENVELOPE ADDRESSED TO: COMMISSIONER FOR PATENTS, P.O. BOX 1450, ALEXANDRIA, VA 22313-1450, ON January 28, 2004

McGLEW AND TUTTLE, P.C., SCARBOROUGH STATION,
SCARBOROUGH, NEW YORK 10510-0827

By:  Date: January 28, 2004



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 04 019.6

Anmeldetag: 1. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: KUKA Roboter GmbH, Augsburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zum Überwachen einer Maschine
und derartige Maschine, insbesondere Roboter

IPC: G 01 M 19/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Dezember 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurke

PATENTANWÄLTE
DIPL.-ING. HEINER LICHTI

DIPL.-PHYS. DR. RER. NAT. JOST LEMPERT

DIPL.-ING. HARTMUT LASCH

D-76207 KARLSRUHE (DURLACH)
POSTFACH 410760

TELEFON: (0721) 9432815 TELEFAX: (0721) 9432850

30. Januar 2003
19753.5 Le/zl

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

Verfahren zum Überwachen einer Maschine und derartige Maschine, insbesondere Roboter

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen von beweglichen Teilen einer Maschine, wie eines Industrieroboters sowie eine Maschine mit beweglichen Teilen, wie insbesondere Industrieroboter.

Zur Realisierung eines sogenannten "Sicheren Roboters" sind folgende Maßnahmen bekannt:

- 10 - Limitierung der Achsgeschwindigkeit durch softwaremäßige Begrenzung;
- Limitierung der Geschwindigkeiten durch Begrenzung der Zwischenkreisspannung;
- 15 - Überwachung der Geschwindigkeit und/oder der Position über mehrere redundante Überwachungskanäle;

- Kollisionsüberwachung durch Überwachung der Antriebsmomente über die Motorströme;
- Kollisionsüberwachung durch separate Sensorik, z.B. zur Feststellung der Annäherung an Hindernisse (kapazitiv, induktiv, Ultraschall, visuell) oder von Berührungskräften (Druckmessmatten mit verschiedenen physikalischen Prinzipien);
- Ausschluss bestimmter Teile des Arbeitsraums durch mechanische Anschläge oder durch Software.

Die genannten Maßnahmen sind zum Teil als alleinige Maßnahmen nicht sicher, sondern nur in Verbindung mit mindestens einem weiteren Überwachungskanal, sie sind zum Teil aufwendig. In der Regel wird daher durch Mehrkanaligkeit, d.h. Überwachung und Heranziehung mehrerer Messungen eine hinreichende Redundanz vorgesehen. Darüber hinaus beinhaltet auch eine redundante Überwachung bisher, dass identische oder verwandte Messgrößen lediglich durch zwei oder mehrere Sensoren erfasst und über getrennte Kanäle übertragen und verarbeitet werden, so dass lediglich Fehler der Erfassung, Übertragung und Verarbeitung ausgeschaltet werden konnten, nicht aber der erfassten physikalischen Größen selbst.

Der Erfindung liegt die Aufgabe einer Verbesserung der Überwachung einer Maschine, wie eines Industrieroboters, zur Erhöhung der Sicherheit.

Erfindungsgemäß wird die genannte Aufgabe mit einem Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, welches dadurch gekennzeichnet ist, mindestens zwei unterschiedliche Messgrößen erfasst und zumindest eine dieser Messgrößen derart zu einem ersten Messergebnis verarbeitet wird, dass es mit einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnenen

nen zweiten Messergebnis vergleichbar ist, dass das erste Messergebnis mit einer anderen Messgröße oder bzw. einem aufgrund derselben gewonnenen Messergebnis verglichen wird und dass ein das Vergleichsergebnis charakterisierende Signal bereitgestellt wird.

Zur Lösung ist weiterhin eine Maschine, insbesondere Industrieroboter ausgestaltet durch mindestens zwei Messeinrichtungen zur Erfassung unterschiedlicher Messgrößen an beweglichen Teilen der Maschine, Verarbeitungseinheit für zumindest eine Messgröße zur Verarbeitung derselben in ein mit einer anderen Messgröße und einem aus diesem gewonnenen zweiten Messergebnis vergleichbaren ersten Messergebnis und durch eine Vergleichseinheit zum Vergleichen des ersten Messergebnisses mit zumindest einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnenen zweiten Messergebnisses.

Durch die Erfindung werden an unterschiedlichen diversitären physikalischen Messgrößen zur redundanten Überwachung eines Roboters herausgezogen und es werden damit diversitäre Messsignale zur Verfügung gestellt. Hierdurch wird eine bessere redundante und damit sichere Überwachung einer Maschine mit beweglichen Teilen, insbesondere eines Industrieroboters ermöglicht, vor allem dahingehend, dass die Maschine oder der Roboter generell oder situationsabhängig vorgegebene Geschwindigkeiten nicht überschreitet, was zur Begrenzung des Nachlaufweges bei Stop und zur Begrenzung der kinetischen Energie wichtig ist, dass der Roboter weiterhin vorgegebene Beschleunigungswerte nicht überschreitet, was zur Vermeidung unkontrollierter Bewegungszustände bei Störung in der Regelung wichtig ist und schließlich dass Kollisionen mit Hindernissen sicher erkannt werden.

In äußerst bevorzugter Ausgestaltung ist dabei vorgesehen, dass beispielsweise zusätzlich zur Überwachung der Bewegung eines Roboters durch Motorstrommessungen vorgesehen ist, dass als zumindest eine Messgröße Materialspannungen an
5 Teilen der Maschine gemessen werden bzw. durch Messeinrichtungen zur Bestimmung von Materialspannungen.

Insbesondere wesentlich ist, dass durch diese Messung von Materialspannungen bzw. der Ausbildung einer Maschine bzw.
10 eines Roboters derart, dass an ihm Materialspannungen gemessen werden, gerade hierdurch ein zusätzlicher diversitärer Mess- und Verarbeitungskanal zur Verfügung gestellt wird, dessen Messsignal keine Abhängigkeiten von korrespondierenden Werten in der Maschinen-/Robotersteuerung, wie
15 beispielsweise der Materialstreumessung hat, so dass störende Einflüsse nicht zu systematisch gleichen oder ähnlichen Messfehlern in allen diversitären Mess- und Verarbeitungskanälen führen. Darüber hinaus kann das aus der Materialspannung gewonnene Messsignal auch zusätzlich für andere
20 Zwecke eingesetzt werden.

Insbesondere ermöglicht die erfindungsgemäße Überwachung von Materialspannungen indirekt die Überwachung von Reaktionsmomenten und Kräften als Ergebnis von Kollisionen, Beschleunigungen und Bewegungsgeschwindigkeiten
25 (Zentrifugalkraft, Corioliskraft), die zu Belastung der Roboterstruktur und damit zu den zu messenden Materialspannungen führen.

30 In bevorzugter Weise werden Materialspannungen an mehreren Punkten der Maschinen-/Roboterstruktur gemessen, wobei vorzugsweise entsprechende Messwertaufnehmer an mindestens zwei Seiten eines Maschinen-/Roboterteils, wie Schwinde oder Roboterarm, angebracht sind, vorzugsweise aber an zwei

zu einander gebrachten Seiten: Ober- bzw. Unterseite und rechte bzw. linke Seite.

In bevorzugter Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dabei vorgesehen, dass die Materialspannungen mittels mindestens eines Messwertaufnehmers gemessen werden, wobei insbesondere Materialspannungen mittels eines Dehnungsmessstreifens gemessen werden oder aber Materialspannungen mittels eines lichtleiterbasierten Aufnehmers gemessen werden. Eine erfindungsgemäße Maschine, wie ein Roboter, ist in Weiterbildung derart ausgestaltet, dass die Einrichtungen zur Bestimmung von Materialverspannungen als Messwertaufnehmer ausgebildet sind, wobei wiederum insbesondere Einrichtungen zur Bestimmung von Materialspannungen als Dehnungsmessstreifen ausgebildet sind oder Einrichtungen zur Bestimmung von Materialspannung als piezoelektrische oder auch lichtleiterbasierte Aufnehmer ausgebildet sind. Es ist dabei grundsätzlich möglich, verschiedene Arten von Messwertaufnehmern einzusetzen, die vorgenannten also zu kombinieren.

Da der Verlauf der Messwerte, insbesondere von Materialspannungen, durch die Überlagerung von Kräften und Momenten sehr komplex sein kann, erfolgt die Auswertung der Sensorinformation vorzugsweise durch Vergleich mit Referenzverläufen, wobei sich derartige Referenzverläufe einerseits synthetisch durch Berechnung über ein entsprechendes mathematisches Modell oder durch Aufzeichnung der realen Messwerte unter bekannten Bedingungen (ohne Störeinflüsse) erzeugen lassen. In weiterer bevorzugter Ausgestaltung ist daher vorgesehen, dass aktuelle Messungen mit Referenzwerten verglichen werden, wobei insbesondere aktuelle Messungen mit Referenzwerten unter Berücksichtigung von Toleranzen gemessen werden und/oder Toleranzen durch Bildung eines Referenzkorridors zu einer Referenzkurve berücksichtigt

werden. Weichen die Messwerte von der Referenzkurve stärker als zulässig ab, so kann auf ein unvorhergesehenes Ereignis, z.B. eine Kollision mit dem Bediener geschlossen werden. Die zulässige Grenze der Abweichung wird durch ein Toleranzband (Referenzkorridor) definiert.

10 Dabei kann in bevorzugter Weise vorgesehen sein, dass bei Abweichungen von erwarteten Messwerten ein Stillsetzen der Maschine erfolgt, wobei insbesondere, wie schon vorstehend angedeutet, die Messung von Material-Spannungen zur Überwachung der Bewegung eines Roboters zusammen mit der Messung anderer Überwachungsgrößen als redundante Überwachung erfolgt.

15 Eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Maschine sieht vor, dass auf mindestens zwei Flächen eines Roboterteils jeweils mindestens eine Einrichtung zur Bestimmung von Materialspannungen angeordnet ist.

20 In bevorzugter Ausgestaltung ist eine Überwachungseinrichtung vorgesehen, mit der mindestens eine Einrichtung zur Bestimmung von Materialspannungen an Maschinen-/Roboterteilen verbunden ist.

25 Die Redundanz bei der Prüfung auf unerwartete Ergebnisse wird erreicht durch gleichzeitige Auswertung der erfindungsgemäß überwachten Materialspannungen zusammen mit mindestens einem weiteren Messkanal, wozu insbesondere herangezogen werden können über das Wegmesssystem in der Steuerung softwaremäßig ermittelte Positionen und/oder Geschwindigkeiten oder aber Motormomente, die über Stromsensoren in den Antriebsverstärkern gemessen werden.

35 Meldet keiner der redundanten Messkanäle eine Überschreitung des Toleranzbandes, darf auf Störungsfreiheit ge-

geschlossen werden. Meldet mindestens einer der Messkanäle eine Überschreitung, wird durch eine sichere Logik der Roboter gestoppt und in einen sicheren Zustand gebracht, indem Bremsen geschlossen und Antriebe energielos geschaltet werden.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung, in der Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im einzelnen erläutert sind. Dabei zeigt:

Fig. 1 ein Blockdiagramm zur Überwachung der Bewegungen eines Roboters.

Fig. 2 ein Diagramm zur Erfassung und Bewertung von Materialspannungen an einem Maschinen-/Roboterteil.

Fig. 3 ein konkretes Ausgestaltungsbeispiels zur Erfassung von Materialspannungen an einer Maschine/einem Roboter aufgrund einer Bewegung um die A1-Achse.

Fig. 4 ein konkretes Ausgestaltungsbeispiels zur Erfassung von Materialspannungen an einem Roboter aufgrund einer Bewegung um die A3-Achse.

Fig. 5 einen Roboter, dessen Roboterarm in Kontakt mit der Schulter einer Person gelangt;

Fig. 6 einen Roboter mit schematischer Darstellung des Reaktionsmoments auf die Beschleunigung der Achse A3;

Fig. 7 einen Roboter mit schematischer Darstellung der bei Bewegung um die vertikale Achse A1 auftretenden Zentrifugal- und Corioliskräfte;

5 Fig. 8 ein Diagramm mit der Darstellung eines Referenzkorridors für eine Bewegung sowie eines Verlaufs einer tatsächlichen Bewegung mit Ausbrechen derselben aus dem Referenzkorridor in einem bestimmten Bereich; und

10

Die Fig. 1 zeigt ein Blockschalbild zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens der Überwachung eines Roboters mittels Empfang unterschiedlicher - diversitärer - physikalischer Messgrößen mittels eines redundanten Messsystems, am Beispiel der Heranziehung von Materialspannungen in der Struktur eines Industrieroboter 1.5.

15

Bei Betrieb eines Roboters können in Teilen desselben Kräfte und Momente auftreten, die zu Materialspannungen innerhalb der Teile des Roboters führen, welche über geeignete Einrichtungen, wie Dehnungsmessstreifen 8 oder auch leiterbasierte Aufnehmer (nicht dargestellt) erfasst und damit auch während des Betriebs des Roboters hinsichtlich des Abweichens von vorgegebenen Wertverläufen oder von vorgegebenen oder erwarteten Wertverläufen überwacht werden können.

25

Der Industrieroboter der Fig. 1 weist einen Robotersockel 2, an diesem angeordneten Umrichter 3, einen auf dem Sockel 2 drehbar um die vertikale erste Roboterachse A1 angeordneten Karussell 4, eine um die horizontale zweite Achse A2 schwenkbar angelenkten Roboterschwinge 5, einen an deren der Schwinge 4 abgewandten freien Ende um eine weitere horizontale Roboterachse A3 schwenkbar angelenkten Roboterarm 6 auf, an dessen freien, dem Roboterarm 5 abgewandten Ende

35

wiederum eine Roboterhand 7 angeordnet ist. An Schwinge 4 und Roboterarm 6 sind Dehnungsmessstreifen 8 angeordnet.

Es ist ein Roboter 1 dargestellt und zusätzlich als Blockschaltbild eine Überwachungseinrichtung 11. Die Überwachungseinrichtung 11 weist eine Überwachungseinheit 12 zur Überwachung von Dehnungen der Roboterstruktur, eine Überwachungseinheit 13 zur Überwachung der Position von Roboter-
 5 teilen unter Berücksichtigung des Zeitablaufs und damit der Geschwindigkeit sowie schließlich eine Überwachungseinheit
 10 14 zur Überwachung des Motorstroms aus den Umrichtern 3 und damit des Antriebsmoments auf.

In einer Vergleichseinheit 15 im Rahmen der Überwachungs-
 15 vorrichtung 11 werden die durch die Einheiten 12, 13, 14 gemessenen Werte mit Modellwerten eines Modells 16 verglichen. Weichen die gemessenen Werte von vorgegebenen Werten bzw. einem vorgegebenen Verlauf ab, so erfolgt über eine
 Schalteinrichtung 17 ein sicheres Abschalten des Roboters.

20

Die Fig. 2 zeigt ein Diagramm zur Erfassung und Bewertung von Materialspannungen an einer Maschine bzw. einem Roboter-
 terteil.

25

Bei beispielsweise einem Roboter entstehen durch Beschleunigungen und auch Kollisionen (Abbremsen, negative Beschleunigung) als Reaktion hierauf Reaktions-
 Belastungsmomente M gemäß

30

$$M = J \cdot \ddot{q},$$

(1),

wobei J das Massenträgheitsmoment und \ddot{q} die Winkelbeschleunigung um eine Achse ist (Schritt A der Fig. 2).

Dieses Belastungsmoment führt gemäß

$$\sigma = M / W, \quad (2),$$

- 5 wobei W das Widerstandsmoment ist, zu Spannungen an den Roboterstrukturelementen σ (Schritt B).

Diese Spannungen bewirken wiederum nach dem Hookschen Gesetz

10

$$\varepsilon = \sigma / E \quad (3)$$

15

Dehnungen ε am Roboterteil, wobei E der Elastizitätsmodul ist, die durch Dehnungsmessstreifen erfasst bzw. gemessen werden können (Schritt C).

20

Die Messergebnisse der Dehnungen ε können nun derart weiterverarbeitet werden, dass die Dehnungs- und damit Spannungsmessung mit anderen Messgrößen, beispielsweise Motorstrommesswerten vergleichbar sind (Schritt E). In einem weiteren Schritt F erfolgt dann ein Vergleich mit einer solchen weiteren Messgröße F', und, in dem Falle, dass beide einen Fehler, eine gefährliche Situation oder dergleichen anzeigen, ein sicheres Abschalten (Schritt G). Zusätzlich oder alternativ kann vorgesehen sein, dass unmittelbar eine Bewertung der Dehnungen, d.h. der Vergleich mit einem Referenzdehnungsverlauf erfolgt (Schritt E') und, wenn der Vergleich ergibt, dass das Messergebnis aus dem Referenzdehnungsverlauf oder Referenzkorridor herausfällt, dann ebenfalls ein sicheres Abschalten erfolgt (Schritt G).

25

30

Die Fig. 3 zeigt, dass zur Erfassung der Belastungsmomente der Roboterschwinge bei einer Bewegung derselben (und der folgenden Robotererelemente) um die vertikale Achse A1 ein

Dehnungsmessstreifen 8 an einer Seite (der rechten oder linken Seite der Roboterschwinge 5 angeordnet ist.

Demgegenüber zeigt die Fig. 4 das zur Erfassung der Reaktions- oder Belastungsmomente einer Bewegung um die erste horizontale Achse A2 ein entsprechender Dehnungsmessstreifen 8 auf der Oberseite (oder auf der Unterseite) der Schwinge 5 anzuordnen ist.

Die Fig. 5 bis 7 zeigen konkrete Ausgestaltungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens und eines erfindungsgemäßen Roboters, als Beispiel für eine erfindungsgemäße Maschine mit beweglichen Teilen sowie der Überwachung der Maschine bzw. des Roboters 1 mittels Erfassung der physikalischen Messgröße Materialspannung. Weiterhin ist in der Fig. 5 schematisch eine Person 9 dargestellt.

Schlägt beispielsweise ein Roboterarm 6 von oben, wie in Fig. 5 dargestellt, auf die Schulter einer Person oder schlägt er von oben auf einen anderen Gegenstand auf, so ergeben sich erhöhte Biegemomente im Roboterarm 6 und damit Materialspannungen in diesem, die mittels Messstreifen 8 am Roboterarm 6, insbesondere durch auf der Unter- und auf der Oberseite des Arms angeordneten Messstreifens 8 gemessen werden können. Entsprechendes gilt bei seitlichem Anschlagen des Roboterarms 6 gegen eine Person oder einen Gegenstand, wobei in diesem Falle vorzugsweise rechts und links am Roboterarm 6 angeordnete Messstreifen 8 zur Messung der Materialspannungen vorgesehen sind. Stößt der Roboterarm 6 mit seiner Vorderseite bzw. einem mit ihm verbundenen Werkzeug in Richtung der Erstreckung des Roboterarms 6 gegen einen Widerstand, wie gegen eine Person, so ergeben sich Biegemomente und damit Materialspannungen insbesondere in der Schwinge 4.

Wie schon unter Bezug auf Fig. 2 dargelegt und wie aus Fig. 5 ersichtlich ist, treten bei der Beschleunigung oder Verzögerung von Roboterachsen Momente gemäß der Formel

5

$$M_{q_i} = q_{i_dd} * J$$

auf, wobei M_{q_i} das Reaktionsmoment auf die Beschleunigung der Achse i , in der Darstellung der Fig. 5 der Achse A3, q_{i_dd} die Winkelbeschleunigung der Achse i und J das Massenträgheitsmoment ist. Diese Momente führen zu Materialspannungen, die durch geeignete Messwertaufnehmer, wie eben insbesondere Dehnungsmessstreifen oder lichtleiterbasierte Aufnehmer erfasst werden können.

15

Anhand der Fig. 6 ist entnehmbar, dass bei konstanter Bewegung des Roboters Zentrifugal- und Corioliskräfte entsprechend

20

$$F_{\text{Zentrifugal}} = m \cdot (\overline{q_d})^2 \cdot r$$

bzw. die Corioliskraft

$$F_{\text{Coriolis}} = 2 * m * (\overline{q_d} \times \overline{s_d}),$$

25

wobei $F_{\text{Zentrifugal}}$ die Zentrifugalkraft, m die Masse, $\overline{q_d}$ die Winkelgeschwindigkeit, r der Radius, F_{Coriolis} die Corioliskraft und $\overline{s_d}$ die translatorische Geschwindigkeit ist.

30

Die die hierdurch entstehenden Materialspannungen erfassenden Sensoren liefern bei Betrieb des Roboters ein ständiges Abbild der Strukturbelastung. Die gewonnenen Messwerte kön-

nen in mehrfacher Weise weiterverarbeitet und genutzt werden, insbesondere online zu Überwachungs- und Sicherungszwecken, um die gemessenen Werte permanent mit vorgegebenen Richtwerten oder Grenzwerten zu vergleichen um damit eine
5 Sicherheit des Mensch-Maschine-Systems zu gewährleisten, indem Bewegungen, nämlich Geschwindigkeiten bzw. Beschleunigungen, in einem tolerierbaren Bereich gehalten werden und/oder bei Anstoßen eines Roboterteils gegen einen Menschen einen stillgesetzten Erfolg.

10

So zeigt die Fig. 7 in einem Diagramm, in dem der Ort eines Roboterteils über die Zeit hin aufgetragen ist, eine Referenzkurve R für eine vorgegebene Bewegung des Roboters bzw. eines Roboterteils. Der Referenzkurve R ist ein tolerabler
15 Bereich als Referenz Korridor S zugeordnet. Weiterhin zeigt die Fig. 4 eine Messkurve M, die den tatsächlichen Ort des Roboterteils bei einem Betriebsablauf über die Zeit hin zeigt. Im Bereich X bewegt sich die Messkurve M aus dem Referenzkorridor S und zeigt damit eine unzulässige Bewegung
20 oder Kollision mit nicht erwarteten Messwerten an. Hierauf kann beispielsweise ein Abschalten des Roboters bewirkt werden.

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

30. Januar 2003
19753.5 Le/zl

Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen von beweglichen Teilen einer Maschine, wie eines Industrieroboters, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei unterschiedliche Messgrößen erfasst und zumindest eine dieser Messgrößen derart zu einem ersten Messergebnis verarbeitet wird, dass es mit einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnen zweiten Messergebnis vergleichbar ist, dass das erste Messergebnis mit einer anderen Messgröße oder bzw. einem aufgrund derselben gewonnenen Messergebnis verglichen wird und dass ein das Vergleichsergebnis charakterisierende Signal bereitgestellt wird.
- 15 2. Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als zumindest eine Messgröße Materialspannungen an Teilen der Maschine gemessen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Materialspannungen mittels mindestens eines Messwertaufnehmers (8) gemessen werden.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Materialspannungen mittels eines Dehnungsmessstreifens (8) gemessen werden.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Materialspannungen mittels piezo-elektrischer oder lichtleiterbasierten Aufnehmer gemessen werden.
- 15 6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Materialspannungen mittels auf mindestens zwei Flächen eines Roboterteils angeordneten Messwertaufnehmern (8) gemessen werden.
- 20 7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aktuelle Messungen mit Referenzwerte verglichen werden.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass aktuelle Messungen mit Referenzwerten unter Berücksichtigung von Toleranzen verglichen werden.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Toleranzen durch Bildung eines Referenzkorridors zu einer Referenzkurve berücksichtigt werden.
- 30 10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei Abweichungen von erwarteten Messwerten ein Stillsetzen des Roboters erfolgt.

11. Maschine mit beweglichen Teilen, wie insbesondere Industrieroboter, gekennzeichnet durch mindestens zwei Messeinrichtungen zur Erfassung unterschiedlicher Messgrößen an beweglichen Teilen der Maschine, Verarbeitungseinheit (12, 13, 14) für zumindest eine Messgröße zur Verarbeitung derselben in ein mit einer anderen Messgröße und einem aus diesem gewonnenen zweiten Messergebnis vergleichbaren ersten Messergebnis und durch eine Vergleichseinheit (15) zum Vergleichen des ersten Messergebnisses mit zumindest einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnenen zweiten Messergebnisses.
12. Maschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 11, insbesondere nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch Messeinrichtungen (8) zur Bestimmung von Materialspannungen.
13. Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Bestimmung von Materialverspannungen als Messwertaufnehmer ausgebildet sind.
14. Maschine nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Bestimmung von Materialspannungen als Dehnungsmessstreifen ausgebildet sind.
15. Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtungen zur Bestimmung von Materialspannung als lichtleiterbasierte Aufnehmer ausgebildet sind.
16. Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass auf mindestens zwei Flächen eines Roboterteils jeweils mindestens eine Einrichtung zur Bestimmung von Materialspannungen angeordnet ist.

17. Maschine nach einem der Ansprüche 12 bis 16, gekennzeichnet durch eine Überwachungseinrichtung (11), mit der mindestens eine Einrichtung zur Bestimmung von Materialspannungen an Maschinenteilen verbunden ist.

5

18. Maschine nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung (11) Einheiten zur Überwachung zumindest von Dehnungen der Maschinenstruktur sowie einer weiteren Messgröße aufweist.

10

19. Maschine nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung (11) eine Vergleichseinrichtung (15) zum Vergleich aktueller Messungen mit vorgegebenen Modellen für Roboterbewegungen (16) aufweist.

15

20. Maschine nach einem der Ansprüche 18 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung eine Einrichtung (17) zum Abschalten der Maschine aufweist.

20

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

30. Januar 2003
19753.5 Le/zl

Zusammenfassung

Zur Verbesserung der Überwachung einer Maschine mit beweglichen Teilen, wie insbesondere eines Industrieroboter und zur Erhöhung der Sicherheit sieht die Erfindung ein Verfahren zum Überwachen von beweglichen Teilen einer Maschine, wie eines Industrieroboters vor, bei dem mindestens zwei unterschiedliche Messgrößen erfasst und zumindest eine dieser Messgrößen derart zu einem ersten Messergebnis verarbeitet wird, dass es mit einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnen zweiten Messergebnis vergleichbar ist, dass das erste Messergebnis mit einer anderen Messgröße oder bzw. einem aufgrund derselben gewonnenen Messergebnis verglichen wird und dass ein das Vergleichsergebnis charakterisierende Signal bereitgestellt wird.

Zur Lösung beinhaltet die Erfindung weiterhin eine Maschine mit beweglichen Teilen, wie insbesondere Industrieroboter, gekennzeichnet durch mindestens zwei Messeinrichtungen zur Erfassung unterschiedlicher Messgrößen an beweglichen Teilen der Maschine, Verarbeitungseinheit für zumindest eine

Messgröße zur Verarbeitung derselben in ein mit einer anderen Messgröße und einem aus diesem gewonnenen zweiten Messergebnis vergleichbaren ersten Messergebnis und durch eine Vergleichseinheit zum Vergleichen des ersten Messergebnisses mit zumindest einer anderen Messgröße oder einem aufgrund derselben gewonnenen zweiten Messergebnisses.

KUKA Roboter GmbH
Blücherstraße 144

86165 Augsburg

30. Januar 2003
19753.5 Le/zl

Bezugszeichenliste

	1	Industrieroboter
	2	Robotersockel
	3	Umrichter
5	4	Schwinge
	5	Roboterschwinge
	6	Roboterarm
	7	Roboterhand
	8	Dehnungsmessstreifen
10	9	Person
	11	Überwachungseinrichtung
	12	Überwachungseinheit
	13	Überwachungseinheit
	14	Überwachungseinheit
15	15	Vergleichseinheit
	16	Modell
	17	Schalteinrichtung
	M	Messkurve
	R	Referenzkurve
20	S	Referenz Korridor
	X	Bereich

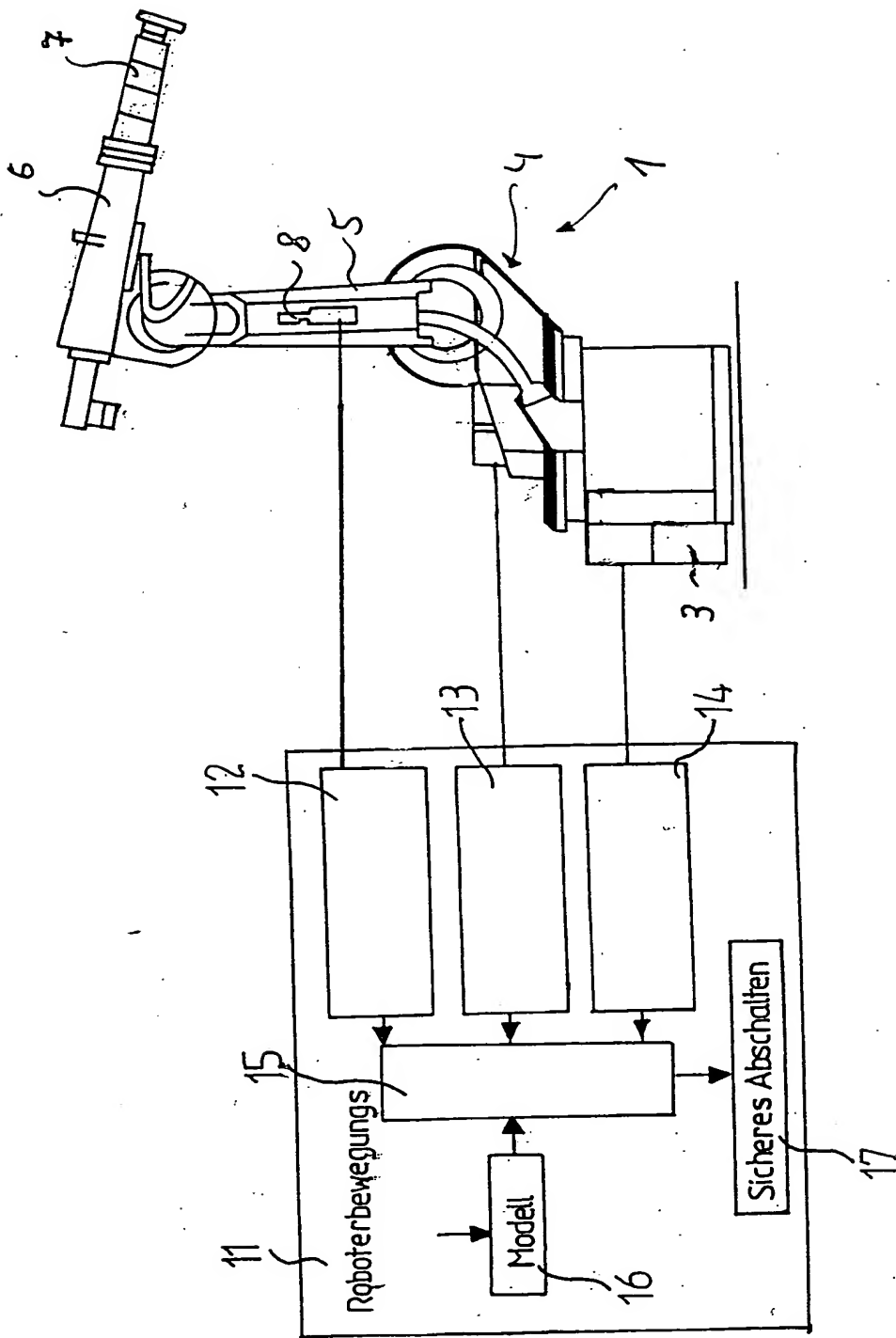


Fig.1

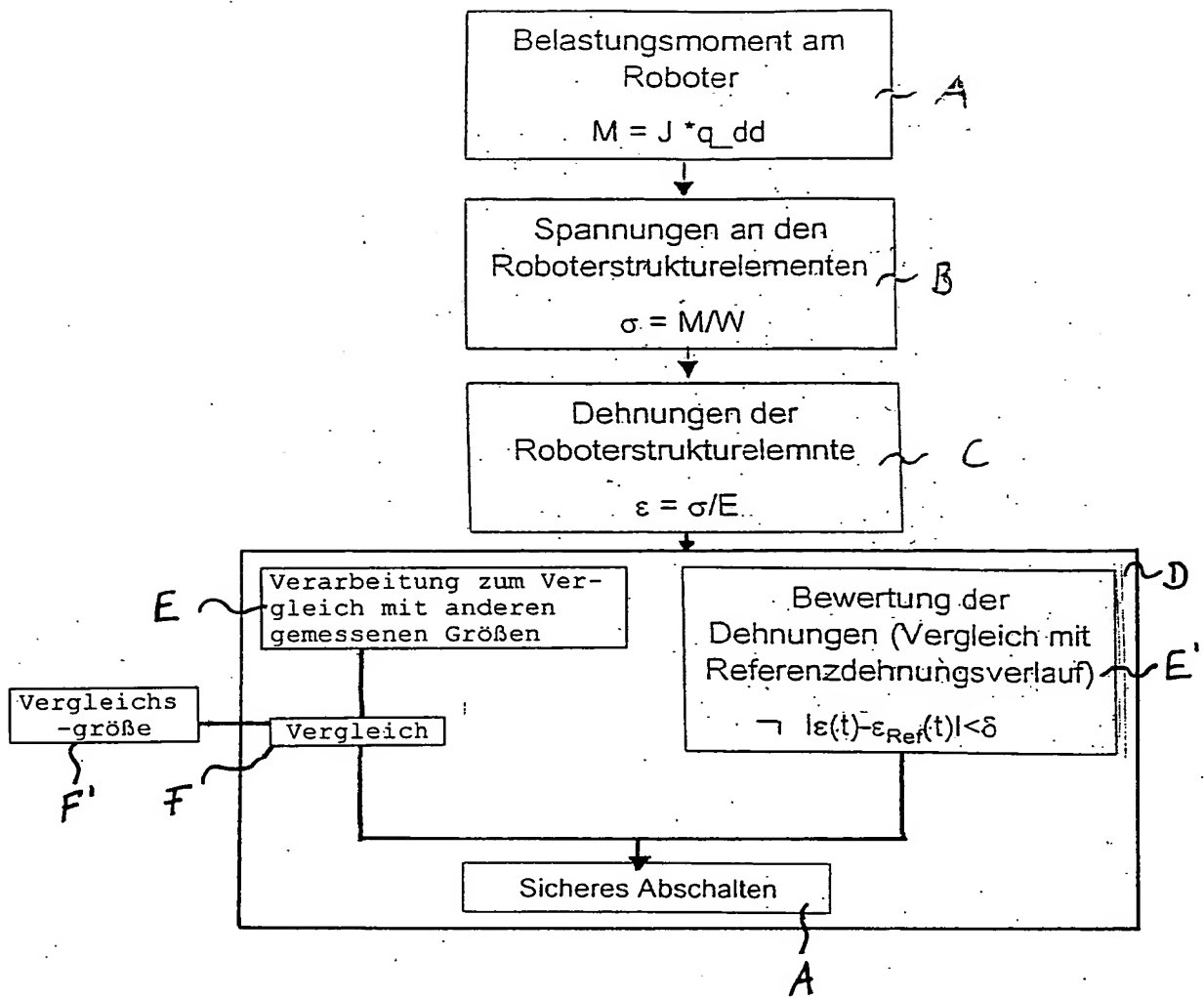


Fig. 2

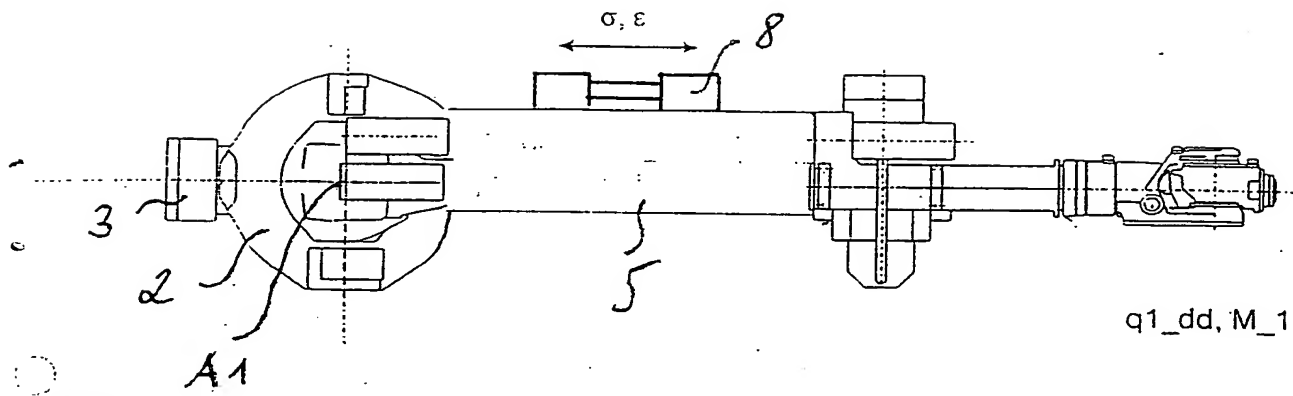


Fig. 3

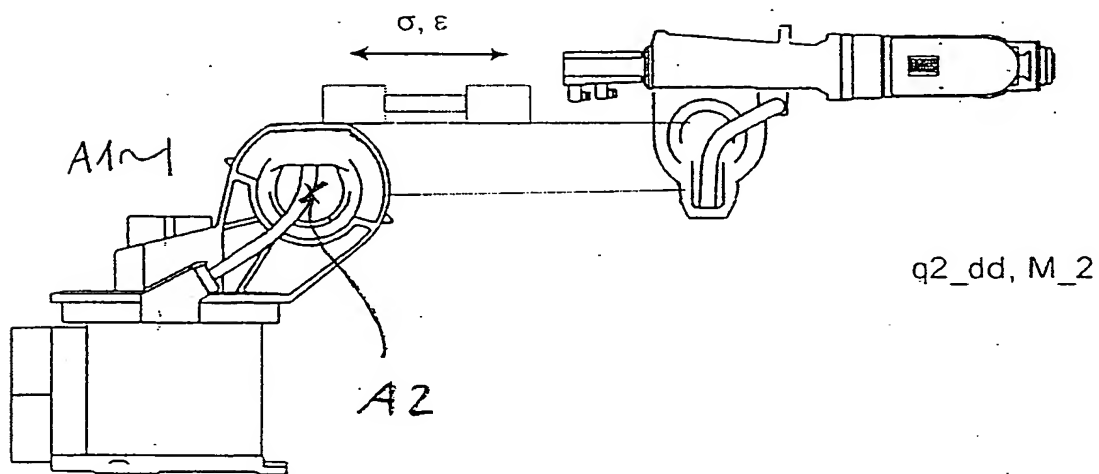


Fig. 4

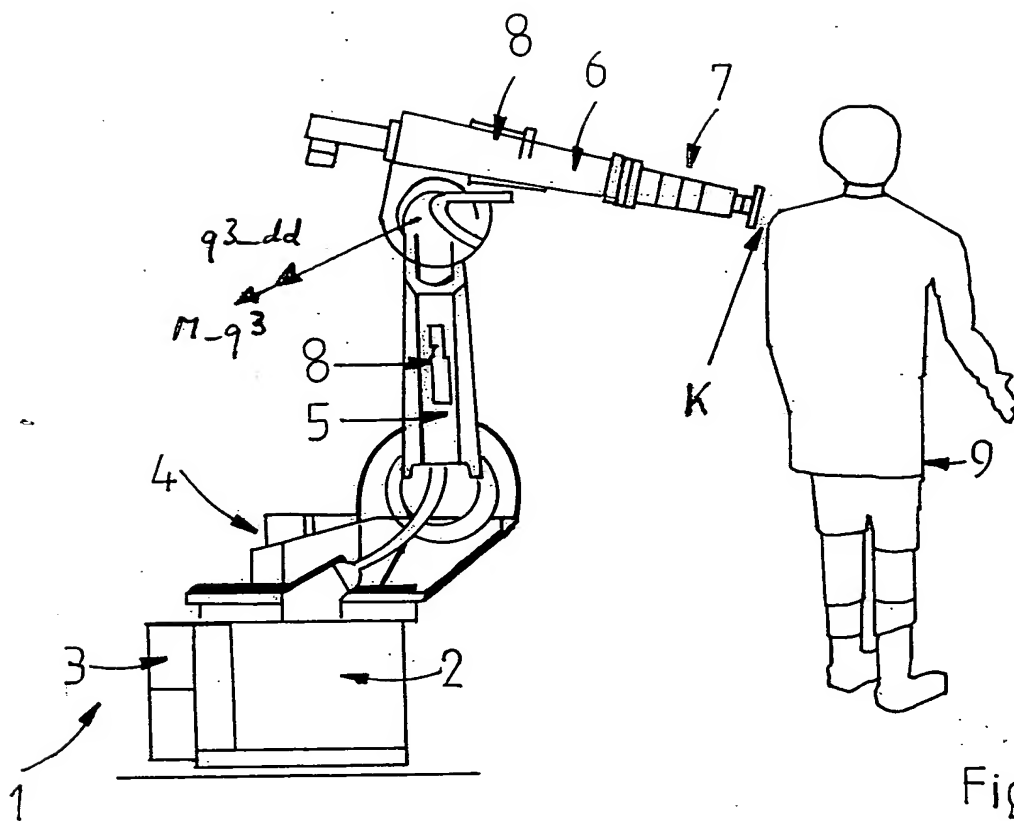


Fig. 5

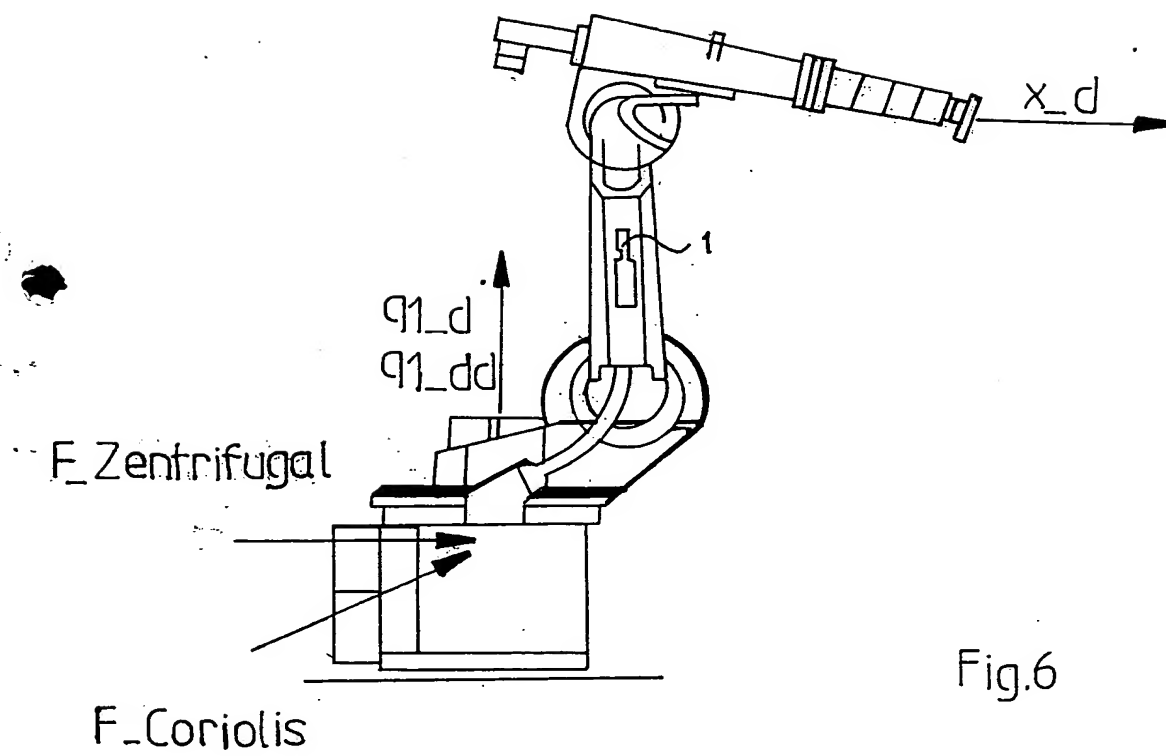


Fig.6

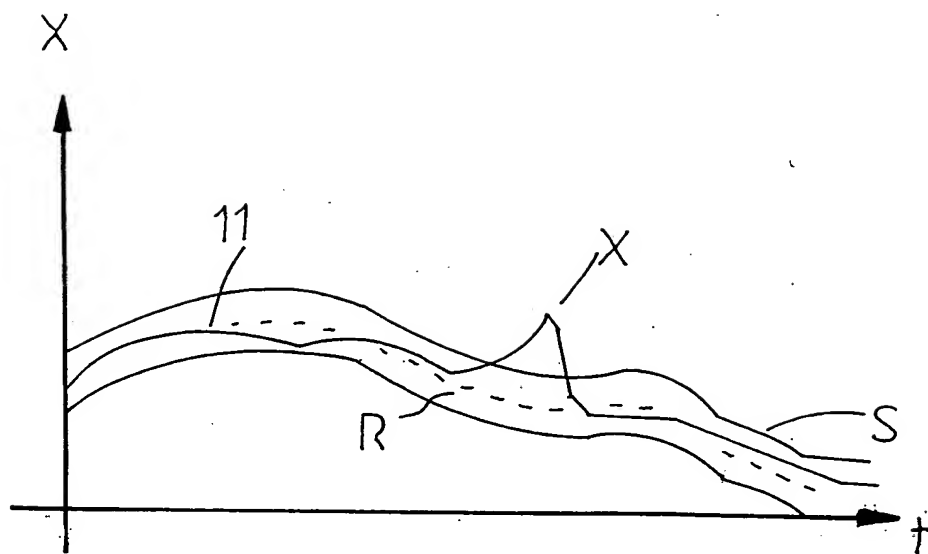


Fig. 7